

УДК 628.931

АВТОМАТИЗАЦИЯ РАСЧЕТА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ОСВЕТИТЕЛЬНОЙ СЕТИ КАК СПОСОБ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ОСВЕТИТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК

С. А. ЖЕРАНОВ

*Закрытое акционерное общество «Солигорский Институт
проблем ресурсосбережения с Опытным производством»,
Республика Беларусь*

Ключевые слова: проектирование, эффективность, осветительная сеть, осветительная установка, автоматизация расчета, методика расчета.

Введение

Осветительные установки являются одними из наиболее распространенных технических устройств, которые присутствуют практически во всех сферах жизнедеятельности человека. Осветительная установка представляет собой совокупность светотехнических и электротехнических устройств: осветительных приборов, установочных аппаратов и осветительной сети. Правильный подбор всех составляющих позволяет не только создать требуемую освещенность рабочих мест, но и обеспечить безопасность работы и жизни людей в условиях производственной деятельности. Данная особенность обуславливает высокие требования к проектам электрического освещения.

Качественно разработанный проект электрического освещения должен обеспечивать нормируемые осветительные условия (освещенность, качество освещения) в помещениях и в местах производства работ вне зданий при одновременном соблюдении минимума затрат на его исполнение. Решение поставленной задачи видится возможным только при неукоснительном соблюдении правил проектирования.

Проектирование осветительных установок сопровождается, как правило, трудоемкими вычислениями и перебором вариантов с целью нахождения оптимального. В условиях параллельного проектирования, когда разработка проекта осуществляется в сжатые сроки, автоматизация расчета электрической осветительной сети видится действенным способом повышения эффективности проектирования осветительных установок.

Данная работа посвящена разработке основных принципов функционирования и обоснованию актуальности компьютерной программы для расчета электрической осветительной сети.

Особенности проектирования осветительных установок в Республике Беларусь

Проекты электрического освещения промышленных предприятий, общественных и жилых зданий должны разрабатываться с учетом действующих технических нормативных правовых актов (ТНПА). В Республике Беларусь к ТНПА относятся: технические кодексы, технические регламенты, стандарты (государственные, международные, межгосударственные, стандарты организаций), технические условия. Некоторые межгосударственные строительные нормы и правила (СНиП), действующие главы правил устройства электроустановок 6-го издания (ПУЭ) и т. д., также носят статус официальных документов на период их замены соответствующими ТНПА [1].

Особенности проектирования осветительных установок в Республике Беларусь связаны, прежде всего, именно с требованиями, техническими условиями, нормами и т. п., предъявляемыми соответствующими нормативными документами, и их отличием от ТНПА других стран. Если рассматривать отличительные особенности нормативных документов в отношении светотехнических показателей, то в западноевропейских нормах, как правило, требования к освещению несколько выше. К примеру, если рассматривать нормируемую освещенность рабочих поверхностей, то она в среднем на одну или на две ступени выше по отношению к ТКП 45-2.04-153–2009, действующему на территории Республики Беларусь. Также в европейских нормах EN 12464-1 нормируется не коэффициент запаса, а «эксплуатационный коэффициент» – величина, обратная коэффициенту запаса [2]. Наиболее тесно требования отечественных стандартов схожи с требованиями нормативных документов Российской Федерации. Однако имеются и различия. Например, на территории России разработаны и введены в действие ПУЭ 7-го издания, своды правил по проектированию и строительству и т. д. Как уже было отмечено выше, Республика Беларусь, являясь самостоятельным государством, пошла по пути разработки собственных стандартов проектирования, что привело, в частности, к некоторому различию требований и в части выполнения электрического расчета осветительной сети.

Проектирование раздела «Электрическое освещение» строительного проекта, как правило, выполняется в несколько этапов.

На первом этапе выполняется сбор исходных данных об объекте проектирования. Исходными данными для разработки проекта являются задание на проектирование и технические условия. Определяются основные конструктивные решения осветительных установок, при необходимости выполняется согласование с заказчиком проекта. Дается технико-экономическая оценка вариантов электроснабжения.

Второй этап проектирования предполагает светотехнический расчет осветительных установок. Данный этап включает в себя выбор системы освещения, нормируемой освещенности рабочих поверхностей, типа источников света в соответствии с условиями окружающей среды и характеристикой зрительной работы. Конечным результатом этого этапа является окончательная расстановка светильников в помещении.

На третьем этапе проектирования рассматриваются такие вопросы, как выбор схемы питания электроосветительного оборудования и защиты сетей освещения. По результатам расчетной части производится выбор типа аппаратов защиты и уставок их срабатывания, сечения проводов и кабелей питающих, распределительных и групповых линий осветительной сети. Третий этап предусматривает трудоемкие расчеты и поиск оптимальных вариантов реализации осветительной сети [3].

Четвертый этап проектирования предполагает составление комплекта чертежей и оформление пояснительной записки. На данном этапе выпускается полный объем проектной документации. В состав основного комплекта рабочих чертежей электрического освещения, в частности, включают принципиальные схемы питающей и распределительной сети, магистральных и групповых щитков освещения [4].

Разработанная по результатам проектирования спецификация оборудования, изделий и материалов подлежит осмечиванию с целью определения суммарных затрат на реализацию проекта электрического освещения.

Этапы проектирования тесно взаимосвязаны между собой. Переход к следующему этапу проектирования возможен только после выполнения предыдущего. Разработка проекта осветительных установок часто выполняется одновременно с проектированием других разделов объекта, т. е. осуществляется так называемое параллельное проектирование. При данных обстоятельствах проектирование освещения приходится начинать не по окончательным, а по промежуточным исходным данным с последующим уточнени-

ем и корректировкой проектных материалов в процессе их разработки, а иногда и после окончания проектов путем выпуска чертежей или разработки новых.

На заключительном этапе комплект чертежей электрического освещения в составе проектно-сметной документации на объект отправляется в Госстройэкспертизу, целью которой является контроль на соответствие требованиям действующей технической нормативной документации.

Актуальность разработки программы для автоматизации расчетов осветительных установок

Большое разнообразие требований нормативных документов, а также трудоемкость расчетов осветительной сети создают определенные затруднения для инженера-проектировщика. В условиях параллельного проектирования часто приходится выполнять пересчет осветительной сети. Использование ручных расчетов приводит к значительному увеличению срока проектирования и удорожанию объекта проектирования. Применение информационных технологий позволяет минимизировать данные недостатки.

Было проведено изучение и критический анализ существующего программного обеспечения для выполнения расчетов электрической осветительной сети [5]. Каждая из изученных программ имеет ряд недостатков, связанных как с ограниченными функциональными возможностями, так и с соответствием результатов расчета указанным выше нормативно-техническим документам.

Существуют также системы автоматизации проектирования осветительных установок (Project StudioCS Электрика, прикладная библиотека проектирования систем электроосвещения КОМПАС и др.), позволяющие выполнить светотехнический и электрический расчет одновременно, а также автоматически подготовить проектную документацию. Существенным недостатком данных систем является условно-бесплатный (с пробным ознакомительным периодом) либо платный характер работы, что создает трудность в их доступности для использования в условиях профессионального проектирования. Использование нецелесообразно и в случаях, когда необходимо выполнить только расчет осветительной сети.

Следует также отметить, что указанные выше программы являются зарубежными разработками и с учетом особенностей проектирования, о которых говорилось ранее, не могут быть использованы на территории Республики Беларусь.

С учетом выявленных недостатков в автоматизации проектирования осветительных установок в настоящее время возникает необходимость в разработке программного продукта узкой специализации – для расчета электрической осветительной сети в соответствии с требованиями ТНПА Республики Беларусь.

Основные положения компьютерной программы для расчета электрической осветительной сети

Программа для расчета электрической осветительной сети позволит в значительной степени автоматизировать деятельность проектировщика на третьем этапе разработки проекта осветительных установок. С учетом специфики и ранее выявленных недостатков существующих программных продуктов она должна отвечать следующим основным требованиям:

1. Построение сложной конфигурации осветительной сети. Следует предусмотреть возможность задания разветвленной сети с присутствием всех основных ее звеньев (рис. 1).

2. Соответствие требованиям ТНПА Республики Беларусь – основное требование, которое позволит использовать данную программу в условиях профессионального проектирования на территории Республики Беларусь.

3. Достоверность и точность полученных результатов. Данное требование реализуется на основании последовательно выстроенной методики расчета осветительной сети.

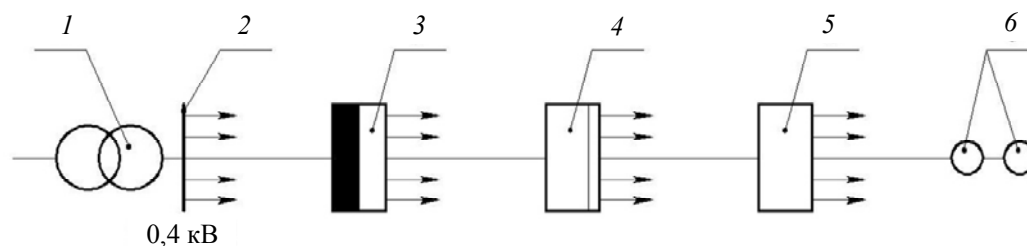


Рис. 1. Основные звенья электрической осветительной сети:

1 – трансформатор; 2 – распределительное устройство низкого напряжения;
3 – вводно-распределительное устройство; 4 – распределительный щиток; 5 – групповой щиток освещения (рабочий или аварийный); 6 – источники света

При разработке программы повышенное внимание следует уделить именно расчету осветительной сети по допустимой потере напряжения, цель которого сводится к определению площади поперечного сечения и материала жил проводов и кабелей. При этом обязательным является соблюдение требований ТНПА, согласно которым снижение напряжения у наиболее удаленных ламп внутреннего рабочего освещения должно составлять не более 2,5 % номинального напряжения ламп для объектов промышленных предприятий [6] и не более 5 % для общественных и жилых зданий [7], а для ламп аварийного – не более 5 %.

Неучет реактивного сопротивления проводов и кабелей может привести к заниженным расчетным значениям потери напряжения и, как следствие, недопустимому снижению напряжения у ламп. Известно, что погрешности в определении потерь напряжения для групповых линий сечением не выше 6 мм^2 и коэффициентом мощности нагрузки 0,95 составят не более 2 %, а для открыто проложенных питающих линий сечением не выше 50 мм^2 и коэффициентом мощности нагрузки 0,95 – не более 10 %. Однако выполнение открыто прокладываемой питающей сети, по которой производится совместное питание силовых и осветительных нагрузок (участок сети до вводно-распределительного устройства), или использование мощных газоразрядных ламп без индивидуальной компенсации реактивной мощности существенно повышает данную погрешность [8].

Одновременно с этим при проектировании следует руководствоваться техническим кодексом [6], который устанавливает строгие границы, в пределах которых допускается пренебрегать реактивным сопротивлением линий. В частности, для газоразрядных источников света без компенсации реактивной мощности допускается не учитывать реактивное сопротивление линии при проводке кабелями, проводами в трубах или многожильными проводами до сечения 16 и 25 мм^2 , а при проводке на изолирующих опорах – до сечения 6 и 10 мм^2 для медных и алюминиевых жил, соответственно. В остальных случаях реактивное сопротивление линий необходимо учитывать.

Следовательно, в алгоритм компьютерной программы следует заложить методику расчета осветительной сети по допустимой потере напряжения с учетом индуктивного сопротивления проводников. Данный подход позволит рассчитать любую сеть с минимальной погрешностью без учета ограничения по типам источников света и способам прокладки питающих их проводников.

Методика расчета адаптирована для возможности реализации ее в компьютерной программе и составлена на основе многолетнего опыта проектирования осветительных установок, имеющегося у автора, а также формул, изложенных в [8]. Последовательность расчетов для линии с одинаковыми сечениями участков и неравномерно распределенной нагрузкой по ее длине (рис. 2) представлена ниже.

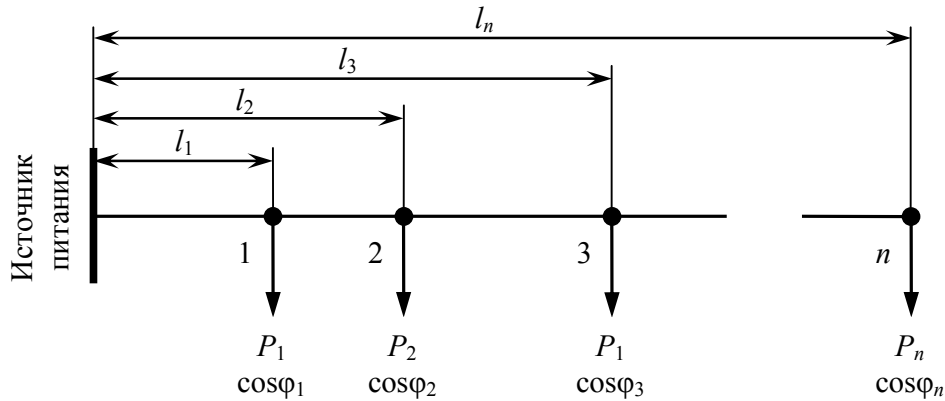


Рис. 2. Схема линии с неравномерно распределенной нагрузкой

1. Рассчитывается предварительное сечение проводника по условию допустимой потери напряжения $\Delta U_{\text{доп}}$ в линии по формуле

$$F = \frac{\sum_{i=1}^n P_i \cdot l_i}{c \cdot \Delta U_{\text{доп}}}, \quad (1)$$

где P_i – активная мощность i -го узла нагрузки, кВт; l_i – расстояние от источника питания до i -го узла нагрузки, м; c – коэффициент, учитывающий проводимость материала жил проводников и номинальное напряжение сети [8].

2. Для ближайшего большего выбранного стандартного сечения определяется допустимая потеря напряжения, обусловленная реактивными нагрузками и сопротивлениями сети:

$$\Delta U_{\text{доп р}} = \frac{10^5 \cdot \sum_{i=1}^n P_i \cdot l_i \cdot \text{tg } \varphi_i}{U_{\text{н}}^2} \cdot x_0, \quad (2)$$

где $\text{tg } \varphi_i$ – коэффициент реактивной мощности i -го узла нагрузки; x_0 – погонное реактивное сопротивление провода или жилы кабеля, Ом/м; $U_{\text{н}}$ – номинальное линейное напряжение сети, В.

3. С учетом реактивной составляющей по формуле (3) уточняется сечение проводника:

$$F = \frac{\sum_{i=1}^n P_i \cdot l_i}{c \cdot (\Delta U_{\text{доп}} - \Delta U_{\text{доп р}})}. \quad (3)$$

4. Для окончательно выбранного сечения рассчитывается фактическая потеря напряжения в линии по формулам:

– для трехфазной сети переменного тока:

$$\Delta U = \frac{10^5 \cdot \sum_{i=1}^n P_i \cdot (r_0 + x_0 \cdot \text{tg } \varphi_i) \cdot l_i}{U_{\text{н}}^2}, \quad (4)$$

где r_0 – погонное активное сопротивление провода или жилы кабеля, Ом/м;

– для двухфазной сети переменного тока:

$$\Delta U = \frac{2,25 \cdot 10^5 \cdot \sum_{i=1}^n P_i \cdot (r_0 + x_0 \cdot \operatorname{tg} \varphi_i) \cdot l_i}{U_{\text{н}}^2}; \quad (5)$$

– для однофазной сети переменного тока:

$$\Delta U = \frac{2 \cdot 10^5 \cdot \sum_{i=1}^n P_i \cdot (r_0 + x_0 \cdot \operatorname{tg} \varphi_i) \cdot l_i}{U_{\text{ф}}^2}, \quad (6)$$

где $U_{\text{ф}}$ – номинальное фазное напряжение сети, В.

5. Для принятого сечения должно соблюдаться условие $\Delta U_{\text{доп}} \geq \Delta U$.

В случае если проверка не проходит, принимается сечение на ступень выше и по формулам (4), (5) или (6) производится пересчет фактической потери напряжения до выполнения условия.

Заключение

Анализ существующих программных комплексов для автоматизации расчета электрической осветительной сети показал, что они не удовлетворяют в полной мере требованиям нормативно-технических документов Республики Беларусь и, следовательно, не могут использоваться при проектировании.

С целью решения данной проблемы предложено разработать компьютерную программу для расчета электрической осветительной сети. Исходя из особенностей проектирования осветительных установок выработаны основные требования к программному продукту. В алгоритме компьютерной программы предлагается реализовать методику расчета осветительной сети по допустимой потере напряжения с учетом индуктивного сопротивления проводников, что в конечном счете позволит выполнить расчет осветительной сети с наивысшей точностью при одновременном соблюдении требований ТНПА.

Литература

1. О техническом нормировании и стандартизации : Закон Респ. Беларусь от 5 янв. 2004 г. № 262-3 с изм. и доп. от 15 июля 2008 г. № 407-3 // Эталон. Беларусь / Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. – Минск, 2017.
2. EN 12464-1: 2011 Light and lighting – Lighting of work places. – Part 1 : Indoor work places (Свет и освещение. Освещение рабочих мест. – Ч. 1 : Рабочие места в комнате).
3. Справочная книга по светотехнике / Ю. Б. Айзенберг [и др.] ; под ред. Ю. Б. Айзенберга. – 3-е изд., перераб. и доп. – М. : Знак, 2006. – 972 с.
4. Система проектной документации для строительства. Правила выполнения рабочей документации внутреннего электрического освещения : ГОСТ 21.608–2014. – Взамен ГОСТ 21.608–84. – Введ. 01.04.2017. – Минск : Белорус. гос. ин-т стандартизации и сертификации, 2017. – 17 с.
5. Жеранов, С. А. Критический анализ существующих систем автоматизации проектирования осветительных установок / С. А. Жеранов // Исследования и разработки в области машиностроения, энергетики и управления : материалы XVI Междунар. науч.-техн. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых, Гомель, 28–29 апр.

- 2016 г. / М-во образования Респ. Беларусь, Гомел. гос. техн. ун-т им. П. О. Сухого ; под общ. ред. А. А. Бойко. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2016. – С. 189–192.
6. Силовое и осветительное электрооборудование промышленных предприятий. Правила проектирования : ТКП 45-4.04-296–2014 (02250). – Введ. 01.10.2014. – Минск : Минстройархитектуры, 2014. – 51 с.
 7. Системы электрооборудования жилых и общественных зданий. Правила проектирования : ТКП 45-4.04-149–2009 (02250). – Введ. 01.01.2010. – Минск : Минстройархитектуры, 2014. – 67 с.
 8. Кнорринг, Г. М. Справочная книга для проектирования электрического освещения / Г. М. Кнорринг, И. М. Фадин, В. Н. Сидоров. – 2-е изд., перераб. и доп. – СПб. : Энергоатомиздат. С.-Петербург. отд-ние, 1992. – 448 с.

Получено 21.04.2017 г.